

저밀도 파장분할 다중화용 PIN PD 제작 및 특성

강재광 · 장진현^{1,*}

(주) L T, ¹한국정보통신기능대학

New Packaging and Characteristics of PIN PD for CWDM Transmission

Jaekwang Kang and Jin Heyon Chang^{1,*}

Leaders Technolgy Inc.

¹Korea Information & Communication College

초 록: 저밀도 파장분할 방식 (CWDM)을 사용하는 광중계기와 광전송시스템에 사용할 수 있는 PIN PD (Positive Intrinsic Negative Photo Diode)를 제작하고 특성을 알아보았다. 특별히 제작된 CWDM 필터를 PD 패키지에 포함하여 일체형으로 제작하여 기존에 별도로 연결하여 사용하던 방법에 비해 작업성과 성능 그리고 가격면에서 우수함을 보였다. 일체형 저밀도 파장분할 PD를 제작하기 위해서 CWDM 필터 조립 단계, PD 패키징 단계, 완제품 최종 조립 및 측정 단계의 3단계 과정을 수행하였다. 제작된 PD는 0.5 dB 대역폭이 17 nm, 투과 단자의 인접채널의 고립도는 60 dB 이상으로 측정되었고, 반사 단자의 고립도는 20 dB 이상으로 측정되었다. 무선주파수 특성을 위해 IMD3를 측정결과 63dBc 이상이었으며 PD의 응답도는 제작 샘플 23개중 20개가 0.9A/W 이상이였다. 일체형으로 제작함으로써 전체적인 삽입 손실이 0.4-0.7 dB 정도 줄었다.

Abstract: We fabricate PIN PD (Positive Intrinsic Negative Photo-Diode) for CWDM optical repeater and optical transmission system, and analyze theoretically the characteristics to verify the capability of device fabricated. Furthermore, we integrate CWDM filter into PD package to enhance the cost and the performance when compared to the conventional system, in which CWDM filter and PD package are linked by optical fusion splicing. The integrated CWDM PD is fabricated by three steps as follows: CWDM filter design, PD packaging, and product assembly and test. The results of measurement for PD fabricated reveal 0.5 dB bandwidth of 17 nm, isolation over 60 dB at transmission port and over 20 dB at reflection port. Also, the IMD3 for wireless communication is over 63 dBc, and the responsivity of PD presents over 0.9 A/W for 20 samples of the total 23 PD. The total insertion loss reduces about 0.4~0.7 dB due to the integrated assembly of CWDM and PD.

Keywords: Photo Diode, CWDM, Dielectric Multilayers Filter, Optical Component Packaging

1. 서 론

이동통신에 사용되는 데이터의 용량이 빠르게 증가함에 따라서 기간망에서 주로 사용되던 광통신 기술이 활발히 적용되고 있다. 특히, 제3세대

광중계기 부터는 저밀도 파장분할 필터(CWDM)를 이용하여 전송용량을 늘리고 전송선로를 절감하는 방식이 많이 사용되고 있다¹⁾. 이러한 CWDM 방식을 사용하는 광중계기의 특징은 저가의 부품을 이용하여 높은 품질을 수용하는데 있다. 이러

*Corresponding author
E-mail: circle91@hanmail.net

한 요구에 착안하여 본 논문에서는 별도의 외부 CWDM 필터와 광검파기(PD)를 서로 연결하여 사용하던 기존 방식을 개선하고자 CWDM 필터를 PD내에 포함하여 일체형으로 제작한 새로운 형태의 PD를 제작하고 그 특성을 알아보고자 한다. PD는 전송신호에 따라 아날로그와 디지털용으로 구분되며 수신감도에 따라서 PIN PD와 APD(Avalanche PD)로 분류할 수 있다. 본 논문에서는 광중계기에서 사용하는 PIN PD를 사용하였으며 PIN PD는 저전압으로 구동할 수 있고 저가격이어서 전송시스템에 널리 사용되고 있다. CWDM 필터는 냉각을 고려하지 않은 광원 (uncooled LD)의 온도 특성 등을 고려하여 적절한 대역폭과 투과 및 반사 특성을 가져야 한다²⁾. CWDM 필터 제품 종류로는 광섬유 용융 인장법에 의한 광 섬유형 제품과, 간섭박막필터를 사용한 마이크로 렌즈형 제품이 사용되어 왔으며 본 논문에서는 고립도(isolation) 특성이 우수하고 다른 기능성 소자와의 집적화가 유리한 간섭박막 필터를 사용하였다. PD의 성능을 좌우하는 주요 요소로는 PD의 주파수 대역폭 특성, 전기-광 응답도 특성, 잡음특성, 포화전력 특성이다. 본 논문에서는 이러한 개별적인 CWDM 필터와 PIN PD의 성능을 모두 만족하면서 개선된 성능을 갖는 CWDM PD를 제작하여 그 특성을 확인하고자 한다. 2장에서 CWDM PD 제작에 앞서 CWDM 필터와 PD의 이론적인 배경을 각각 제시한다. 간섭박막 필터의 설계원리와 제작원리를 나타내고 PIN PD의 핵심측정 사항인 광-전기 주파수특성과 응답도, 암 전류와 잡음에 대해 이론적으로 고찰한다. 3장에서 본 논문에서 제안한 CWDM PD의 설계방법을 나타내고 CWDM 필터부와 PD부로 각각 별도로 레이저 용접한 후 최종 패키징 한다 4장에서 완성된 CWDM PD의 광 특성과 무선주파수 특성을 확인하고 온도 테스트를 하여 신뢰성을 고찰한다. 마지막으로 5장에서 결론을 내린다.

2. 이론적 해석

2.1 CWDM PD 필요성

CWDM 필터를 이용한 Add/Drop 방식의 광중계기의 역 다중화부에서 각기 분리된 CWDM 필터와 PD를 융착 접속하던 기존 방식은 많은 융착 지

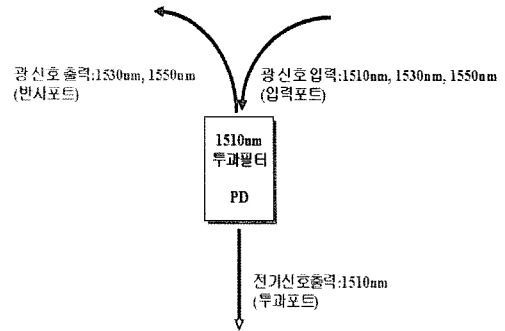


Fig. 1. Mechanism of CWDM PD.

점으로 인하여 삽입손실이 증가하고 작업성이 떨어지며 제품 크기가 커지게 되는 단점을 가지고 있다. 따라서 그림 1과 같이 CWDM 필터와 PD가 일체화 된 제품을 사용하면 위의 단점을 해결할 수 있는 간단한 역 다중화부를 구성할 수 있다. 새로 제작된 CWDM-PD는 기존의 PD기능은 그대로 수행하면서 파장분할 기능을 가지는 소자로써, 입력되어지는 여러 개의 파장에서 내부 CWDM 필터에 의해 필요한 파장만을 선택하여 전기적인 신호로 변환하여 사용하고 나머지 파장은 다른 출력으로 전송하여 다른 PD에서 사용할 수 있도록 설계 되었다.

2.2 간섭박막형 CWDM 필터

CWDM 필터는 대역폭과 온도특성이 우수한 간섭박막 필터를 사용한 방식이 널리 사용되고 있다. 간섭박막필터를 이용해 특정 파장 대역을 투과하는 원리는 그림 2와 같이 양쪽에 반사율 R_1 과 R_2 를 갖는 박막 층과 두께가 d 인 공간 층으로 구성된 Fabry-Perot Etalon의 특성으로 설명될 수 있다.

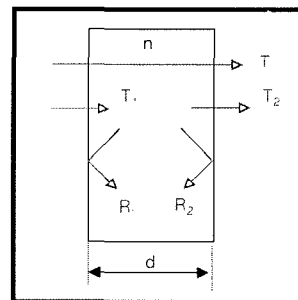


Fig. 2. Schematic of Fabry-Perot Etalon structure.

Fabry-Perot Etalon의 투과 특성은 투과대역의 에리도를 나타내는 Finess와 반사 경계면에서의 위상 변화에 의해 결정되며 Finess는 식 (1)과 같이 표시되며 FSR (Free Spectral Range) 및 FWHM과 연관되어 있다^{3,4)}.

$$F = \frac{4\sqrt{R_a R_b}}{(1 - \sqrt{R_a R_b})^2} \quad (1)$$

Fabry-Perot Etalon에서 최대 투과특성은 식(2)와 같다.

$$T = \frac{I_t}{I_i} = \frac{(T_a T_b)}{(1 - \sqrt{R_1 R_2})^2 + F \sin^2 \left[\left(\frac{\phi_a + \phi_b}{2} \right) - \delta \right]} \quad (2)$$

여기서 ϕ_a, ϕ_b 는 위상 변화이며 최대 투과파장은 다음 식(3)과 같다.

$$\lambda_m = \frac{2nd \cos \theta}{m} \quad (3)$$

여기서 nd 는 광학적 두께이며 $\lambda/2$ 의 정수배인 공간 층을 갖고 양쪽 면의 반사율이 R_1 과 R_2 를 갖는 Fabry Perot Etalon에 90도로 입사하는 광이 입사할 경우 다음 그림 3과 같은 투과 스펙트럼을 갖는다.

실제 필터 제작시 CWDM 필터의 기본 설계는 그림 4와 같이 양쪽에 반사 층(HR mirror) 과 공간 층으로 구성된 단일 공진기로 구성된 Fabry-Perot

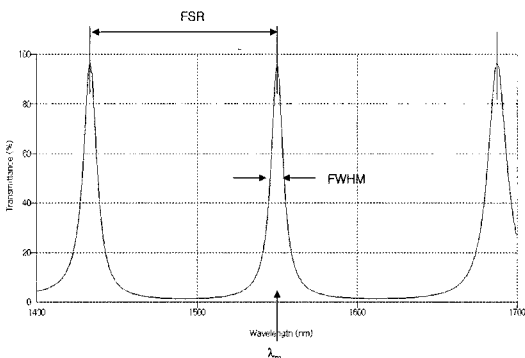


Fig. 3. Transmission characteristics of the Fabry-Perot etalon

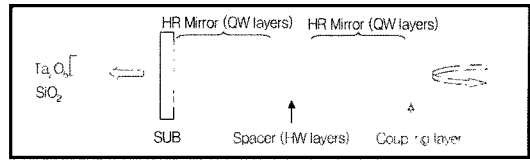


Fig. 4. Fabry-Perot etalon with a single cavity.

Etalon을 기본으로 하며, 이러한 기본 구조를 연속적으로 적층함으로써 다중 공진기형 필터를 구성하여 투과대역폭 및 파장 분리도를 결정하며, 공간 층의 두께로 투과 파장이 결정된다. 이때 필터 설계의 핵심사항을 정리하면 반사 층의 반사율이 커질 수록 그리고 cavity의 수가 증가할 수록 투과 대역폭이 넓어진다. 또한 결합 층을 삽입함으로써 투과대역이 넓어지며, 공간 층의 두께로 투과파장이 결정되어 이러한 변수를 이용하여 사용자가 원하는 사양에 알맞게 설계할 수 있다⁵⁾.

2.3 PIN-PD

PD 칩 제조에 대해서는 이미 이론과 실험적으로 많은 연구가 진행되었으나 본 논문 측정실험에 사용된 중요한 항목만을 표현 하고자 한다. 무 분산 파장인 1310 nm와 최저 손실파장인 1550 nm 파장을 포함하는 장파장 광통신 시스템에 사용되는 PD는 InP 기반의 $In_{0.53}Ga_{0.47}As$ 를 사용한다. 이는 $InGaAs(P)$ 와 $In(Al)GaAs$ 에 의해 방출되는 모든 광을 검파 할 수 있기 때문이다⁶⁾.

그림 5에 PIN PD의 등가회로를 나타내었다. 여기서 I_p 는 전자-홀 쌍 발생으로 인한 광전류이고 R_i 는 내부 저항, C_i 는 접합 및 패키징 캐패시터를 포함하는 내부 캐패시터이다. 이때 전기적인 출력은 다음 식 (4)와 같은 주파수의 함수로 구할 수 있다⁷⁾.

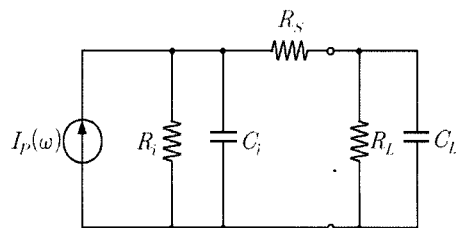


Fig. 5. Equivalent circuit of the PIN PD.

$$P_{out}(w) = \frac{I_p(w)^2 R_L}{1 + w^2 R_{eq}^2 (C_i + C_L)} \quad (4)$$

여기서 R_{eq} 는 $R_i R_L / (R_i + R_L)$ 이며 $R_s \ll R_L$ 일때 일반적으로 3 dB 대역폭이라 하는 전기적인 RC 차단 주파수는 다음 식 (5)와 같이 표현할 수 있다.

$$f_c(RC) = 1 / (2\pi(C_i + C_L)R_{eq}) \quad (5)$$

양자효율은 식(6)과 같이 입사하는 광자와 광전류(Photocurrent)의 비로 결정 된다⁸⁾.

$$\eta = (I_p/q) / (P_i/h\nu) = \frac{I_p h c}{q P_i \lambda} \quad (6)$$

여기서 p_i 는 입사하는 광 파워, I_p 는 입사광에 의해 발생된 전류이며, 광검파기의 평가 항목으로 널리 사용되는 응답도는 다음 식(7)과 같은 관계를 가진다.

$$R = (I_p/P_i)[A/W] = \frac{\eta q \lambda}{h c} \quad (7)$$

평균자승 산탄잡음 전류는 다음 식(8)과 같이 암전류(Darkcurrent)와 광전류로 표현 할 수 있다⁹⁾.

$$\langle i_s^2 \rangle = 2q(I_p + I_d)B \quad (8)$$

여기서 암전류는 응답도와 함께 PD의 성능을 평가하는 중요한 항목으로 본 논문과 같이 역바이어스 전압이 낮을 경우는 표면 누설전류, 공핍영역에서의 g-r 전류와 소수캐리어 들에 의한 확산전류로 분류할 수 있으며 온도 의존성을 포함한 함수로 표현하면 다음 식 9와 같다¹⁰⁾.

$$I_{d, surface} = \frac{1}{2} q S n_i A_s \exp\left(\frac{E_g}{2k_B T}\right) \quad (9-1)$$

$$I_{d, g-r} = \frac{1}{2} q W_d \left(\frac{n_i}{\tau_{eff}}\right) A_j \exp\left(-\frac{E_g}{2k_B T}\right) \quad (9-2)$$

$$I_{d, diff} = q \frac{n_i^2}{L_h N_D} A_j \propto \exp\left(-\frac{E_g}{2k_B T}\right) \quad (9-3)$$

여기서 S는 표면 재결합 속도, W_d 는 공핍영역 폭 τ_{eff} , 는 공핍영역의 유효 캐리어 수명시간, L_h 는 홀의 확산길이 N_D 는 n형 기판의 캐리어 농도이다.

디지털용으로 사용하기 위해 전치증폭기 FET를 추가한 PD의 경우는 다음 식(10)과 같이 전치증폭 잡음을 포함하여야 한다.

$$\langle i_{sc}^2 \rangle = 4kTF_{amp}B/R_{eq} \quad (10)$$

신호 대 잡음비는 식(11)과 같이 나타낼 수 있다.

$$S/N = \langle i_p^2 \rangle / (\langle i_s^2 \rangle + \langle i_{sc}^2 \rangle) = I_p^2 / 2[2q(I_p + I_d) + 4kTF_{amp}B/R_L] \quad (11)$$

3. CWDM PIN PD 제작 및 특성

3.1 CWDM PIN PD 구조 설계

CWDM PIN PD를 제작하기 위해서는 CWDM 필터 조립 단계, PD 조립 단계, 최종 조립 및 측정 단계의 3단계 과정을 거쳐야 한다. 그림 6은 CWDM PD의 세부 구성도이다. 실제상의 특징은 첫째 일반적인 PD에서 광섬유 Pigtail 위치에 언덕형 렌즈(GRIN Lens)를 사용한 듀얼 폴리메이터

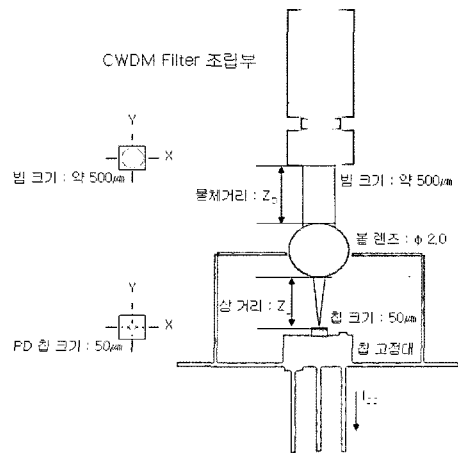


Fig. 6. Schematic of the packaged CWDM PD

(Dual Collimator)를 이용하였다. 콜리메이터는 일반적인 CWDM 필터 조립 시에 광신호의 빔 크기를 확대하여 CWDM 필터의 반사와 투과 포트의 정렬을 쉽게 할 수 있는 역할을 하며 본 논문에서는 CWDM 필터와 PD를 일체형으로 제작하기 위하여 듀얼 콜리메이터를 직접 PD의 입력으로 사용하였다.

두 번째 특징으로 콜리메이터의 사용으로 인하여 빔 크기가 대략 500 μm 정도로 확산되어 CWDM 필터를 통과하며, 직경이 50 μm 인 PD 칩에 집속시키기 위해서 구형 렌즈의 직경을 변화시켜 사용하였다. 소자의 신뢰성을 위하여 모두 SUS 304 또는 SUS 316의 재질을 사용하여 레이저 용접(Laser Welding)을 하였으며, 이때 원통형 메탈 슬리브와 듀얼 콜리메이터의 외벽을 SUS 재질로 동일하게 구성하였다. 콜리메이터를 통과한 광은 평행하게 입사되어 볼 렌즈의 초점에 상을 맺게 된다. 따라서 PD 칩의 위치를 조정하는 것보다는 초점을 길게 하여 PD 칩의 위치에 놓이게 하는 것이 필요하다. 본 논문에서는 볼 렌즈의 직경을 크게 하여 초점거리가 길게 함으로써, 동일한 TO Type을 사용하더라도 칩 고정대의 높이 변화 없이 PD 칩에 80%이상의 광을 집광시킬 수 있었다. 콜리메이터의 특성상 정렬시 Z축에 대한 정렬보다는 X, Y축의 정렬이 더욱 중요하며, 미세한 특성값의 정렬은 Z축을 기준으로 하여 자전하는 θ축과 Z축을 기준으로 기울어지는 θ축에 대한 미세 정렬을 실시하였다.

3.2 CWDM PIN PD 패키지

그림 7은 별도로 제작된 CWDM 필터 조립 부를 나타내고 있다. 광 입력 단자와 광 출력 단자간의 정렬시 CWDM 필터의 축 정렬이 중요하며, 이

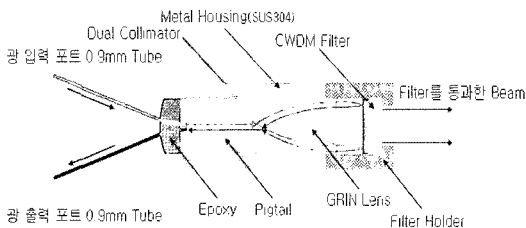
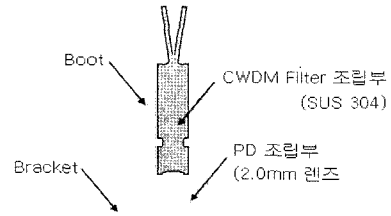


Fig. 7. Assembly of the CWDM filter.



[CWDM PD]

Fig. 8. A schematic diagram of the packaged CWDM PIN PD.

러한 정렬을 위해서는 적어도 6-축 정렬기를 이용한 정렬이 필요하다. 특히 콜리메이터의 경우에는 자전축을 고려해야 그 특성 값이 더욱 좋아지게 된다. 일반적인 CWDM 필터 패키지와 다른 특징은 CWDM 필터 다음 단계 투과용으로 사용하는 싱글 콜리메이터를 사용하지 않고 직접 PD 조립부로 연결되도록 하였으며 이로 인해 삽입손실을 일부 줄일 수 있는 효과를 가질 수 있다¹¹⁾.

그림 8은 PIN PD부를 조립하여 CWDM 필터부와 일체형으로 제작된 최종 패키지를 보여주고 있으며 PD 칩을 1차 메탈 슬리브와 2차 메탈 슬리브에 고정하여 먼저 조립된 CWDM 필터 조립부와 결합하도록 구성된다. 이때 레이저 용접을 하기 전에 CWDM 필터 조립부를 정렬하면서 PD의 응답도 특성을 확인한다. PD의 응답특성이 제품의 기준치 보다 우수할 때 까지 계속 정렬을 하여, 조건을 만족 시 레이저 용접을 하였다. 레이저 용접 후 측정을 하였으며, 측정은 광 특성과 무선 주파수 특성을 모두 측정하였다. 측정 항목 및 기준 스펙은 개별적인 CWDM 필터나 일반 PIN PD의 값과 동일하게 적용하였다.

4. CWDM PIN PD 특성 측정

그림 9는 PIN PD 조립부와 CWDM 필터 조립부를 정렬하여 최종 조립한 후 암 전류와 응답도 특성을 측정하는 방법을 나타내고 있다. 응답도 측정시 입력광원 출력은 1mW이고 역바이어스 전압은 3.3V이었다.

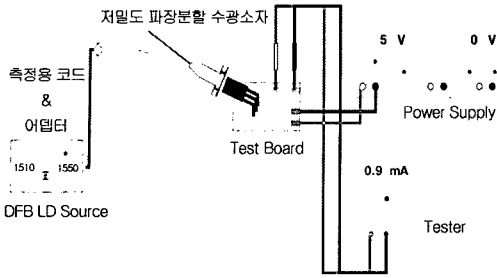


Fig. 9. Measurement setup for responsivity of the CWDM PIN PD.

그림 10에 제작된 CWDM PD의 응답도와 암전류를 측정 한 결과를 나타내었다. 제작된 PD는 1510 nm용 5개, 1530 nm용 4개, 1550 nm용 10개, 1570 nm용 4개로 총 23개 이며 이때 20개가 0.9이상의 응답도를 나타냈다.

고 출력 백색광원과 광스펙트럼 분석기를 이용한 투과 및 반사특성을 그림 11에 나타내었다. PD와의 조립이 완성된 후에는 CWDM 필터의 투과 특성을 확인 할 수 없으므로 PD 조립부와의 최종 조립 이전에 측정하였으며 결과적으로 0.5 dB 대역폭은 약 17 nm의 대역폭을 갖고 있는 것으로 확인 되었다. 투과 단자의 인접채널의 고립도는 60 dB 이상으로 측정되었으며, 반사단자의 고립도는 20 dB 이상으로 측정되었다.

디지털화하여 전송되는 무선 주파수가 제대로 완성된 CWDM PD에 전달되었는지 확인하기 위하여 무선주파수 특성을 측정하였으며 신호 발생기와 RF 스펙트럼 분석기를 이용 하였다. 그림 12는 2GHz 대역에서 2톤을 입력 했을 때의 IMD3

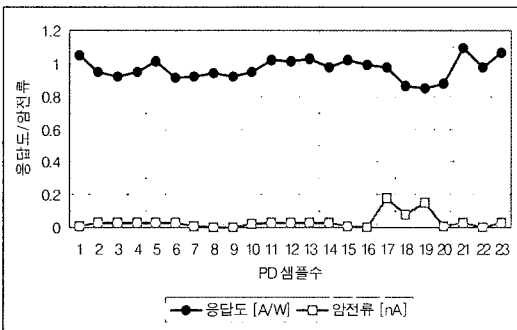


Fig. 10. The measured responsivity and dark current of the fabricated CWDM PIN PD.

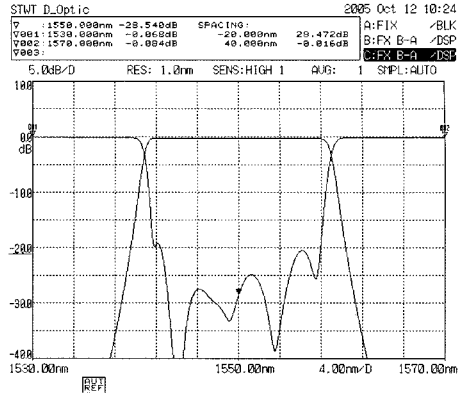


Fig. 11. The reflection and transmission curves measured by a high power white light source.

(Inter Modulation Distortion)을 측정 한 결과이다. 일반적으로 IMD3 특성은 60 dBc를 넘으면 우수한 것으로 평가하며 측정결과 2.0GHz 대역에서 63.9 dBc로 나타났다.

표 1에 중심주파수 1.95 GHz에서 무선 주파수 특성 결과를 나타내었다. 0 dBc는 PD가 동작 가능한 포화상태를 나타내기 위한 조건이며 IMD3가 1530nm용 PD에 대해 67.2dBc이상, 1570 nm용 PD에 대해 66.4dB 이상임을 알 수 있고 잡음밀도 측정 한 결과 1530 nm용 PD에 대해서 최저 -140.6dBm/Hz, 1570 nm용 PD에 대해서 최저 -143.9 dBm/Hz를 보여 기존 PD 기준을 만족 하였다. 그림 13은 1530 nm 용 CWDM PD에 1550nm

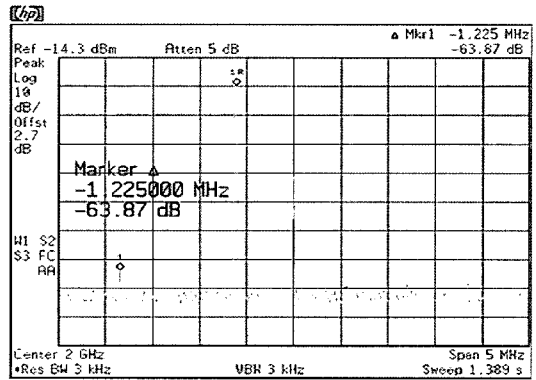


Fig. 12. IMD3 result measured at 2.0 GHz in a optical repeater for wireless communication.

Table 1. Result data for wireless communication

0 dBo 측정시	1530nm	1570nm
Gain (dB)	0.3	-1.3
IMD3 (dBc)	67.2	66.4
Noise Floor (dBm/Hz)	-136.9	-139.2
5 dBo 측정시		
Gain (dB)	-7.9	-8.9
IMD3 (dBc)	68.6	69.4
Noise Floor	-140.6	-143.9

DFB 광원을 입력시켜 반사되는 DFB 광원을 입력과 비교하여 나타내었으며 0.7dB 삽입손실을 제외하고 거의 모든 입력이 반사됨을 알 수 있다. 그림 14에는 1510 nm용 CWDM PD에 1510 nm DFB 광원을 입력 시켰으며, 19dB이상 차이가 발생함을 통해 필요한 파장이 PD로 투과됨을 알 수 있다.

1550 nm용 CWDM PD와 일반 PD 그리고 1550 nm용 CWDM 필터와 PD를 융착 접속한 3가지 종류에 대한 응답도 비교를 그림 15에 나타내었다. 1550 nm DFB 광원으로 측정 하였으며 3종류 모두 같은 제조사의 TO CAN을 사용하였고 샘플 수는 각각 10개였다.

응답도 비교 결과 일반 PD는 평균 0.998,

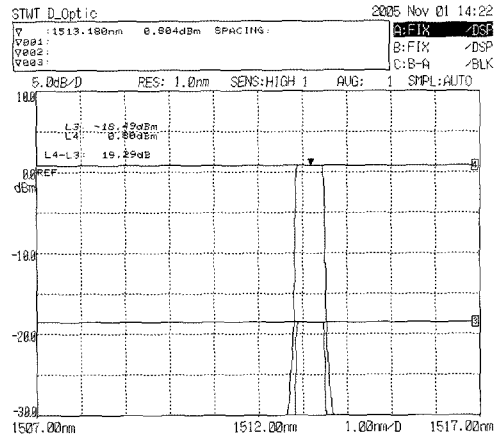


Fig. 14. Comparison between the optical signals incident from 1510 nm DFB source a 1510 nm CWDM PD.

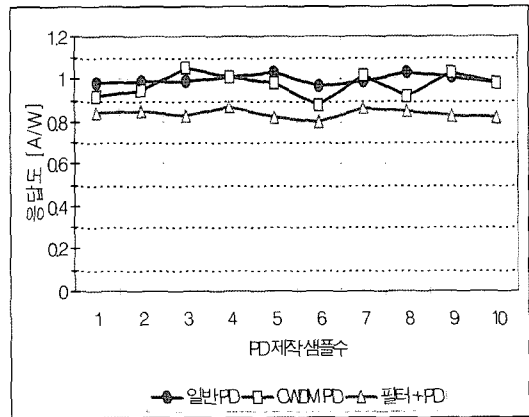


Fig. 15. Responsivity for the 3 kinds of devices along the number of PD samples fabricated.

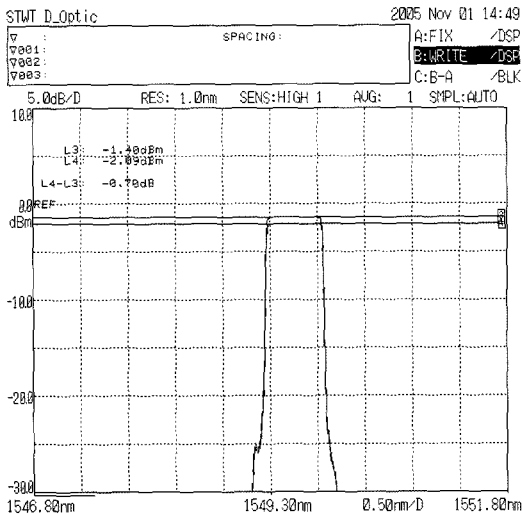


Fig. 13. Comparison between the optical signals incident from 1550 nm DFB source a 1530 nm CWDM PD.

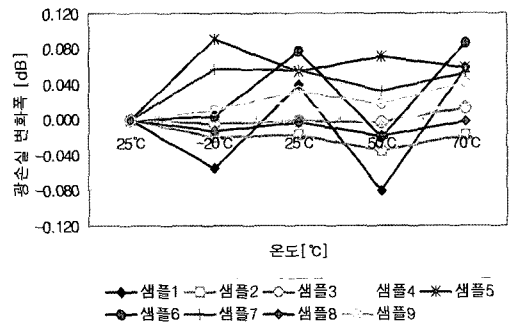


Fig. 16. Temperature dependence of the insertion loss of the CWDM PD.

CWDM PD는 평균 0.974 그리고 기존의 개별적으로 연결한 방식은 0.837 (A/W)로 새로 제작된 CWDM PD가 기존의 개별적 연결 방식에 비해 응답도가 0.137 정도 향상되었다. 그림 16은 온습도 Cycling 시험결과로 온도 변화에 따른 삽입손실의 변화를 나타내고 있다.

온도 사이클은 -20에서 70도 까지 수행하였다. 일반적으로 요구되는 온도에 따른 손실 변화 폭은 $\pm 0.2\text{dB}$ 이내로 제한하고 있으나 측정결과 온도에 따른 손실 변화가 규정치 안에서 변동됨을 확인할 수 있었다.

5. 결 론

본 논문에서 제시한 CWDM PD는 현재 광중계기 및 전송시스템에서 사용되고 있는 각기 분리된 일반 PD와 CWDM 필터를 일체형으로 제작함으로써 기존의 단점을 개선하여 작업 효율성 및 제품 크기, 삽입손실, 가격적인 면에서 장점을 가지도록 제작되었다. 제작결과 전기적 특성인 응답도에서 23개중 20개가 0.9 A/W 이상이었으며 무선 주파수 특성은 중심주파수 2 GHz 이고 0dB_o 측정 조건에서 IMD3 가 63 dBc 이상 잡음 밀도가 -136.9dBm/Hz 이상으로 측정되어 기존의 PD 성능과 동일한 특성을 얻을 수 있음을 증명하였다. 수행한 패키징 특징으로는 첫째 일반적인 CWDM 필터의 입력단자인 듀얼 콜리메이터 PD의 입력단자로 사용하고 출력 단자인 싱글 콜리메이터를 생략함으로써 CWDM 필터가 PD내로 포함됨으로 인한 삽입손실을 최소화 하였고 두번째볼 렌즈 크기를 변경하여 PD 칩과의 정렬을 정확하고 용이하게 하였다. 그러나 본 논문에서 제시한 방법 이외에 레이저 용접 시 기존 PD의 성능을 기준으로 보다 세심하게 정렬한 요인도 크게 작용했을 것으로 사료된다. 결과적으로 전체 광 모듈에서 기존의 방식에 비해 CWDM 필터 삽입손실의 일부와 용착 손실이 없어져 0.4~0.7 dB 정도의 삽입손실 향상이 있었으며 이로 인하여 응답도가 평균 0.137 향상 되었다. 또한 광 모듈의 제품크기가 작

아지고 작업성이 현저히 좋아졌다. 완성된 제품의 온도 테스트 결과 -20~70도 범위에서는 범위 $\pm 0.2\text{mm}$ 내 에서 유지됨을 알 수 있었다. 향후 온도변화와 역방향 전류에 정도에 따른 특성 변화와 무선 주파수 응답 특성 개선하는 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. J.-J. Petiotte, "Low-cost components give coarse WDM an edge Components for DWDM metro systems are now too expensive for widespread use." Laser Focus World, vol. 37, pp.47-56 (2001).
2. J. A. Richard, "CWDM: A Low-Cost Alternative for Increased Capacity" Photonics Spectra, vol. 37, pp. 62-65 (2003).
3. 김윤중, 김창민, 김명진, 윤대원, "WDM 전송용 광섬유 Fabry-Perot 가변 광필터의 제작 및 특성분석", 전자공학회 논문지 제35권 D편 3호, pp.70-81 (1998).
4. F. L. Pedrotti, "Introduction to Optics", Prentice Hall, pp.455-470 (1987).
5. H. A. Macleode "Thin-Film Optical Filters" Macmillan, New York 2nd Edition (1986).
6. D. R. Smith, R. C. Hopper, P. P. Smith, and D. Wake, "Experimental comparison of a germanium avalanche photodiode and InGaAs PINFET receiver for long wavelength optical communication systems", Electron. Lett., 18, pp.453-454 (1982).
7. S. D. Personick, "Receiver design for digital fiber optical communication systems Part I & II, "Bell Syst. Tech. J., 52, pp.843-886 (1973).
8. R. Torommer and L. Hoffman, "Large hole diffusion length and lifetime in InGaAs/InP double heterostructure photodiodes", Electron. Lett., 22, pp.360 - 361 (1986).
9. K. Hasegawa, K. Ohnaka, M. Kubo Y. Hori, and H. Serizawa, "InGaAs PIN photodiode with low dark current," Extended abstract of 16th conf.on Solid State Devices and materials, pp.579-582 (1984).
10. C. J. Kircher, "Comparison of leakage currents in ion implanted and diffused p-n junction," J. Appl. Phys., 46, pp.2167-2173 (1975).
11. 다채널용 파장 분할 수광 소자, (특) 2003 - 0041761, 2003